

Artículos

Evaluación de patrones temporales en la dinámica para el cambio de cobertura vegetal en zonas rurales tropicales durante el periodo 2013-2018. Caso de estudio Chaguaní-Colombia*

Cómo citar este artículo: González, G. P., Toro Casas, V., Dorado Castillo, E. O., y Ramírez Castañeda, L. N. (2021). Evaluación de patrones temporales en la dinámica para el cambio de cobertura vegetal en zonas rurales tropicales durante el período 2013-2018. Caso de estudio Chaguaní-Colombia. Cuadernos de Desarrollo Rural, 18. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cd18.eptd>

Gina Paola González^a

Universidad Libre, Colombia

ginap.gonzaleza@unilibre.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9210-3653>

Valeria Toro Casas

Universidad Libre, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7127-7686>

Elkin Oswaldo Dorado Castillo

Universidad Libre, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7398-7120>

Leila Nayibe Ramírez Castañeda

Universidad Libre, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0651-0971>

DOI: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cd18.eptd>

Recibido: 11 noviembre 2019 ■ Aceptado: 25 febrero 2021 ■ Publicación: 25 agosto 2021

Resumen:

^a Autora de correspondencia. Correo electrónico: ginap.gonzaleza@unilibre.edu.co

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es un método implementado para la detección de cambios en las coberturas vegetales. Con el fin de evaluar la calidad de la vegetación del municipio de Chaguaní-Cundinamarca en Colombia durante el periodo 2013-2018, se emplearon imágenes satelitales Landsat 8 OLI TIRS, con el fin de extraer los valores del NDVI. En los resultados se identifican ascensos en el suelo desnudo desde 25.477 hectáreas hasta 50.270 hectáreas entre los años 2013 y 2014, esta situación pone en un estado crítico el municipio de Chaguaní, ya que disminuye las zonas cultivables, afectando la seguridad alimentaria de la zona.

Palabras clave: cambios de cobertura vegetal, índice normalizado de vegetación, calidad de la vegetación.

Evaluation of Temporal Patterns in the Dynamics for Land Cover Change in Tropical Rural Areas during the Period 2013-2018. Case Study Chaguaní-Colombia

Abstract:

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is a method implemented to detect the changes in vegetation cover. In order to evaluate the vegetation quality of the municipality of Chaguaní-Cundinamarca in Colombia during the period 2013-2018, Landsat 8 OLI TIRS satellite images were used to extract NDVI values. The results identify increases in bare soil from 25,477 hectares to 50,270 hectares between 2013 and 2014, this situation puts the municipality of Chaguaní in a critical state, since it decreases the cultivable areas, affecting the food security of the area.

Keywords: vegetation cover changes, normalized vegetation index, vegetation quality.

Introducción

La degradación de la vegetación es extensiva en Asia Central y afecta el 59% del área total, como consecuencia, los impactos a largo plazo de las prácticas del manejo inapropiado y la acción antrópica (Kharin, 2002), derivan en la alteración de usos iniciales del suelo, que pueden ser modificados por usos no correspondientes, provocando la pérdida de calidad en la vegetación, los bosques nativos, los bosques de galería, las áreas naturales y el cambio a usos convencionales como suelos con vocación agrícola, pastizales, ganadería así como extracción de combustibles fósiles (Vargas y Sicard, 2013).

En la actualidad para mejorar la planificación y organización territorial se propone identificar los cambios de la vegetación a partir de las tasas de cambio del NDVI, puesto que es una herramienta útil para explicar la pérdida, transformación de las cubiertas forestales, así como las prácticas y actividades vanguardistas e innovadoras de manejo agronómico y de cultivos, con lo cual se evita el riesgo de la seguridad alimentaria (Lambin et al., 2001; Teluguntla et al., 2015). Si bien la detección con imágenes satelitales permite analizar los cambios de cobertura, usos del suelo, procesos de degradación, desertificación y en general la pérdida de la cobertura vegetal (Sahebjalal y Dashtekian, 2013; Mas et al., 2009), el trabajo con imágenes satélites permite cartografiar los tipos de vegetación y suelo en diferentes años, gracias a la disponibilidad de imágenes a través del satélite Landsat (Jensen, 2009). En efecto, los canales espectrales de Landsat OLI_TIRS son utilizados para calcular el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI), a partir de la combinación de las bandas del infrarrojo cercano y la reflectividad en el rojo del espectro electromagnético del área de estudio (Amani et al., 2018).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) es una aplicación muy utilizada en la estimación de cobertura vegetal al igual que en la detección de cambios de patrón del uso del suelo (Shimabukuro et al., 1998;

Chuvieco, 2008), su técnica también se encarga de valorar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación a partir de la energía solar reflejada por la radiación visible en el espectro electromagnético (Campbell y Wynne, 2011), es así, como la reflectancia permite identificar vegetación vigorosa, la cual se caracteriza por una mayor actividad fotosintética y menor degradación (Alatorre et al., 2010; Mattar et al., 2008). Algunos estudios utilizan este indicador para la determinación de coberturas vegetales. Por ejemplo, en India en la región costera de Honnavar-Taluka, se identificaron cambios de la cobertura en la tierra, a partir de las variaciones de uso del suelo en el casco urbano, estanques de acuicultura y aspectos nutricionales de los cultivos, los cuales pueden ser representados con tasas de cambio y su máxima de fluctuación. Los resultados muestran aumentos en las plantaciones forestales del 0,91%, mientras que en la vegetación mixta representa pérdidas del -0,76% (Reddy et al., 2018).

En otro escenario, las estadísticas entregadas por la (Global Forest Watch, s.f) afirman que desde el 2001 al 2017 Brasil y México han perdido alrededor de 50,9 Mha y 3,40 Mha de cobertura vegetal equivalentes a un decrecimiento del 9,8% y 6,4% respectivamente. En otros estudios reportados en México se analizan tasas de cambio del NDVI de la sub cuenca del río Salado, para identificar la pérdida de cobertura vegetal entre 1976 y 2000, los resultados obtenidos detallan que más de 20.000 Km² de matorrales fueron desmontados, representando una disminución aproximada de 838.500 Ha/año (Ruiz et al., 2017).

En las zonas rurales de Colombia, la pérdida de vegetación se debe al aumento de la producción agrícola, la cual ha sido aproximadamente de 3,72 Mha equivalente a un decrecimiento del 4,5% en coberturas vegetales (Global Forest Watch, s.f). La escasa información en zonas rurales de Colombia limita el análisis de coberturas vegetales, razón por la cual se utilizan imágenes satelitales, para obtener información biofísica y así mejorar la planificación territorial integral, partiendo de zonas altamente vigorosas con dé prioridad para las regiones, hasta el uso adecuado de los suelos, los cuales contribuyen a la seguridad alimentaria. Sumado a lo anterior, es importante destacar que en la costa Caribe se han analizado los cambios que generan la actividad minera en la cobertura vegetal, los procesos de deforestación, la degradación, la desertificación, así como la pérdida de la biodiversidad, todo esto es posible mediante el geo procesamiento de imágenes satelitales de Landsat (TM+) junto con otras fuentes cartográficas. Los resultados de la pesquisa identifican incrementos de 6.948 Ha deforestadas desde 1986 hasta 2007 (Pinto et al., 2015). Para el caso de Cundinamarca, la presencia de suelo desnudo se atribuye a la extracción de materiales de construcción con una participación promedio del 45,41% en el municipio de Chaguaní y 64,61% en San Juan de Rioseco (Contraloría de Cundinamarca, 2018). Dicha actividad contribuye al detrimento y degradación de las características físicas de las tierras con la presencia de suelos desnudos, las cuales han disipado sus coberturas vegetales por efectos de la extracción de recursos (Ying et al., 2017). Por lo anterior, se considera adecuado para el desarrollo de la investigación analizar los cambios de la cobertura vegetal en el municipio de Chaguaní-Cundinamarca, teniendo como referencia las tasas de cambio del NDVI, su procesamiento a partir de la combinación de las bandas del infrarrojo cercano y la reflectividad en el rojo del espectro electromagnético desde el 2013 hasta el 2018.

Metodología

Área de estudio

El municipio se encuentra ubicado en la región andina 4° 57' N 74° 36' W y colinda con los municipios de Guaduas al norte, al oeste con el río Magdalena, al sur con San Juan de Rioseco y al este con el municipio de Vianí. El municipio de Chaguaní se caracteriza por tener un clima tropical, las precipitaciones anuales están en el rango

de 1500 a 2000 mm, con un cambio máximo de altitud de 1193 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 1109 metros, la temperatura promedio es de 23,2°C (Spark, 2018), los usos de suelos en la zona de estudio son principalmente agrícolas y forestales, como se observa en la figura 1 (Alcaldía Municipal de Chaguaní Cundinamarca, 2000).

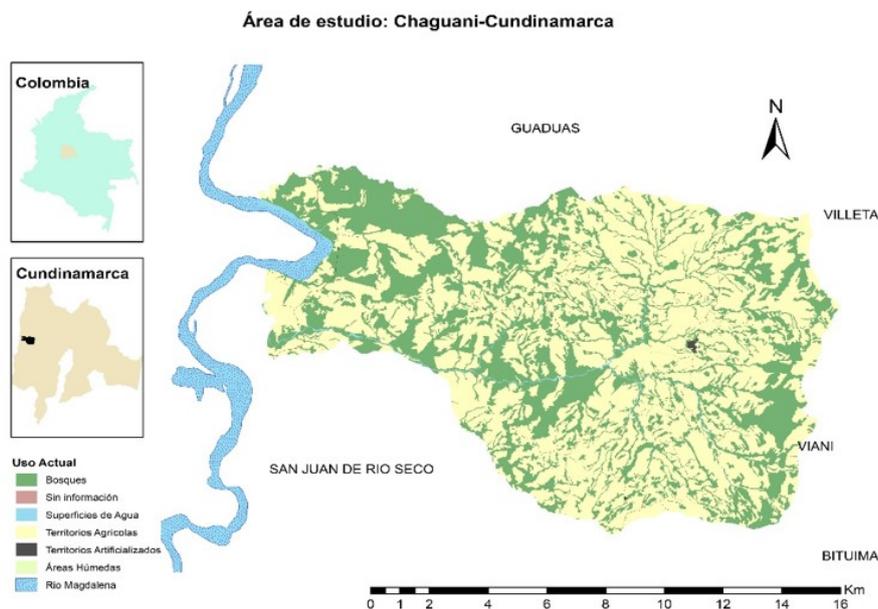


FIGURA 1
LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO, MAPA ACTUAL DE USOS DEL SUELO
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN LA FUENTE DE LA CAR (2016)

Datos utilizados y procesamiento

En esta investigación se utilizó como herramienta de análisis el índice de vegetación, para identificar las coberturas vegetales (Rahman et al., 2016). En tanto el Índice de Vegetación Normalizado [NDVI] es el primer insumo para la caracterización de la vegetación en zonas rurales del municipio de Chaguaní Cundinamarca (Guerschman et al., 2003). El procesamiento del NDVI se desarrolla a partir del geo procesamiento de imágenes satelitales con el software ArcGIS 10.6, que permite generar el compuesto de falso color de las imágenes Landsat OLIT con las bandas de infrarrojo cercano y rojo (Saeed et al., 2018). Los datos son obtenidos de la plataforma USGS Earth Explorer (s.f.), para la clasificación de la información, se identifican las imágenes satelitales de primer nivel que corresponden al sensor Landsat OLIT, el cual tienen una resolución espacial de 30m y es suministrado con información radiométrica y geométrica, que significa 12m de resolución mejorada, brindando información detallada de la escena de estudio (Banskota et al., 2014).

El período escogido para realizar la investigación corresponde al segundo semestre de los años 2013-2018, tal como se describe en la tabla 1, ya que el área de estudio presenta menor influencia con las condiciones de precipitación, nubosidad y climáticas (Gurgel y Ferreira, 2003). Durante dichos períodos se presentan temporadas de alta o baja producción agrícola, en donde se identifican las coberturas vegetales (Guzmán et al., 2019). De cada imagen satelital se calculó el NDVI, que trabaja con la reflectividad en el infrarrojo cercano NIR (0,85µm a 0,87µm) y la reflectividad en el rojo RED (0,63µm a 0,67µm); el procesamiento se desarrolla con la interacción de las bandas y se describe en la siguiente ecuación propuesta por (Rouse et al., 1973).

NDVI= (NIR-RED) / (NIR+RED) (Ecuación 1)

NIR: Infrarrojo cercano

RED: Reflectividad en el rojo

TABLA 1
CUADRO DE INFORMACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES HOMOGÉNEAS

Fecha	Identificación Landsat	Nubosidad	Calidad	Sensor
25/07/2013	LC80080572013206LGN01	46,6	9	OLI_TIRS
16/10/2014	LC80080572014289LGN01	55,21	9	OLI_TIRS
22/12/2015	LC80080572015356LGN01	24,2	9	OLI_TIRS
8/10/2017	LC80080572017281LGN00	39,35	9	OLI_TIRS
8/08/2018	LC80080572018220LGN00	52.,39	9	OLI_TIRS

Fuente: propio con USGS

Para la obtención de las tasas de cambio del NDVI se calcula a partir de las áreas finales e iniciales para analizar el área de estudio (Hegazy y Kaloop, 2015; Castellanos, 2011). Las áreas se determinan teniendo como referencia la clasificación de imágenes, el cual es un método utilizado para la detección del NDVI y la creación de mapas multitemporales para analizar coberturas vegetales, así como la caracterización en los usos del suelo (El Garouani et al., 2017).

En primera instancia se realiza una clasificación no supervisada para determinar el NDVI, ya que es una técnica utilizada para obtener el área general de las coberturas vegetales, dicha técnica consiste en la asociación de los píxeles de reflectancia similar en los diferentes mapas de NDVI y así cuantificar la superficie ocupada por la cobertura vegetal (Arango et al., 2005; Song et al., 2014). En cambio, la clasificación supervisada se utiliza para la caracterización detallada en la identificación de usos de los suelos y la agrupación de píxeles, que tiene en cuenta una señalización específica para definir con mayor precisión los cambios de usos del suelo así como las coberturas vegetales (Oyedotun, 2018; Islam et al., 2017). Una vez obtenidas las áreas de coberturas vegetales y los usos de los suelos se calculan las tasas usando la ecuación propuesta por (Nascimento, 1991; FAO, 1996).

$$tc = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \times 100 \text{ (Ecuación 2)}$$

tc = tasa de cambios

S₁ = superficie de cobertura vegetal en la fecha 1 en ha

S₂ = superficie de cobertura vegetal en la fecha 2 en ha

n = diferencia de años.

Resultados

Los NDVI se han implementado a lo largo del tiempo para identificar los cambios en la cobertura vegetal, el resultado de estos indicadores varia de -1 a 1. Donde el valor mínimo refleja en los mapas suelo desnudo, terrenos áridos, zonas urbanas y/o roca hasta valores próximos a 0. Los valores mayores a 0 evidencian suelos con vegetación sana y vigorosa (Islam et al., 2018). Los mapas resultantes del NDVI se registran en la figura 2 donde el valor mínimo obtenido es 0 y máximo obtenido es 1, representando la vegetación del suelo desnudo y más vigorosa respectivamente. Desde el año 2013 la vegetación disminuye significativamente desde un 56% hasta un 52% en el área total del municipio.

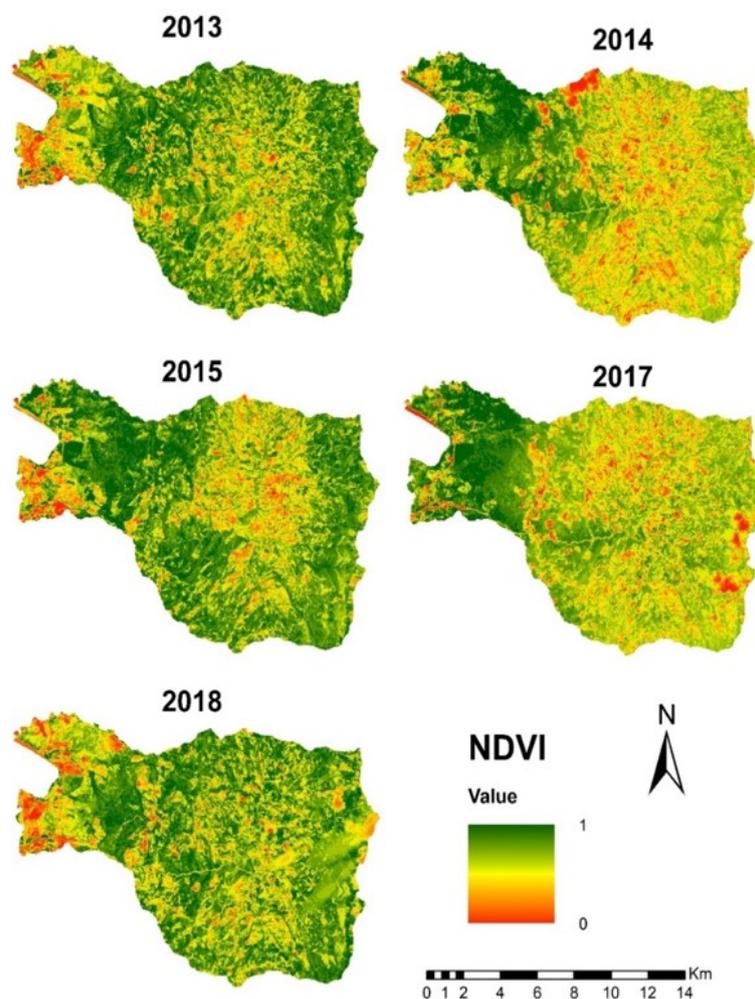


FIGURA 2
MAPAS MULTITEMPORAL NDVI
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La detección del cambio en la cobertura vegetal entre los años 2013 muestra una dinámica de vegetación pobre e incrementa en 2018. en los años 2015 a 2017 muestra una regresión del suelo desnudo. De acuerdo con la tabla 2 y la figura 3, las áreas deforestadas o de suelo desnudo equivalen al 15% del área total en el año 2018. En cuanto a la

calidad de la vegetación se identifican cambios significativos en las coberturas vegetales, puesto que los resultados más relevantes se identifican con la presencia de suelo desnudo, que fluctúa con tasas de cambio del 2013-2014 de 97,32 %, esto significa que la superficie ascendió desde 25.477 hectáreas hasta 50.270 hectáreas. De igual manera la vegetación pobre asciende desde 59.667 hectáreas hasta 89.315 hectáreas. En cambio, la vegetación vigorosa desciende desde 108.693 hectáreas hasta 54.252 hectáreas.

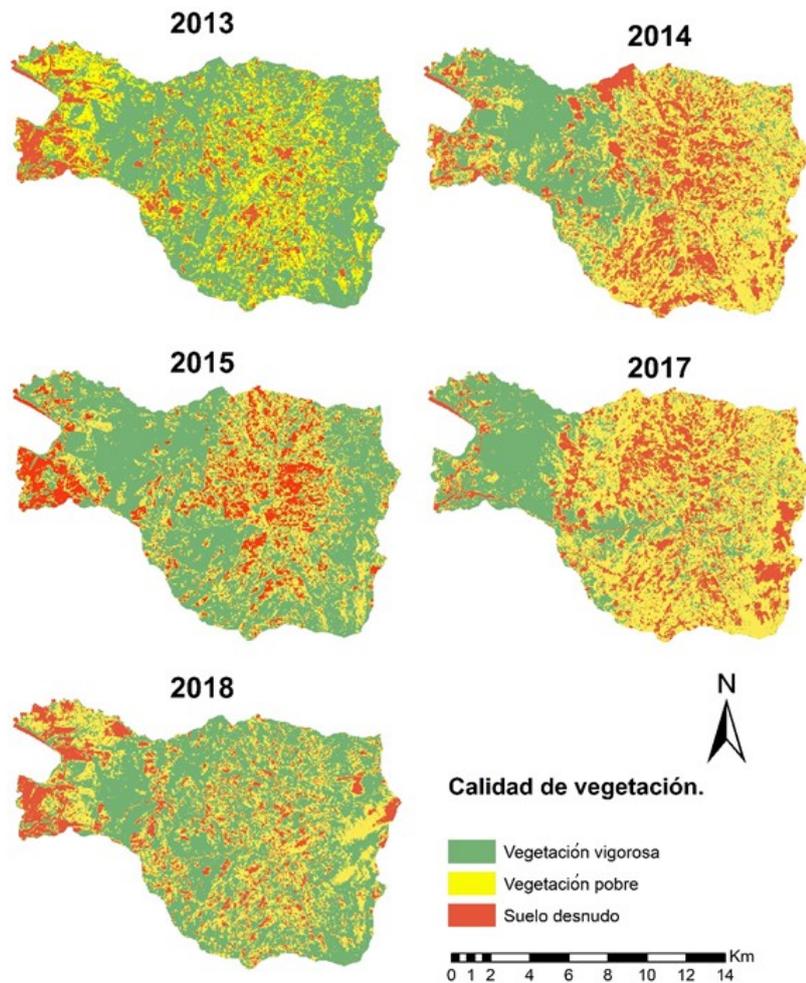


FIGURA 3
 DELIMITACIÓN ÁREAS DE DIFERENTE COBERTURA VEGETAL USANDO LA CLASIFICACIÓN SIN SUPERVISIÓN
 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

No obstante, se identifican cambios positivos en las coberturas vegetales, ya que las tasas de 2017-2018 desciende en un -32,11% (Tabla 2). En síntesis, los años de mayor degradación se presentaron en los años 2013-2014, por tanto, está situación afecta en la actualidad la zona oeste del municipio de Chaguaní (Figura 3).

TABLA 2
TASAS DE CAMBIO DE CALIDAD DE VEGETACIÓN

NDVI	Vegetación vigorosa		Vegetación Pobre		Suelo Desnudo	
	(hectáreas)	Porcentaje	(hectáreas)	Porcentaje	(hectáreas)	Porcentaje
Superficie en 2013	108.693	56	59.667	31	25.477	13
Superficie en 2014	54.252	28	89.315	46	50.270	26
Superficie en 2015	105630	54	57600	30	30607	16
Superficie en 2017	54.085	28	95.220	49	43.532	23
Superficie en 2018	100875	52	63408	33	29554	15
Tasa de cambio 2013-2014	0,50	-50,09	0,50		0,97	
Tasa de cambio 2014-2015	0,95	94,70	-0,36	-35,51	-0,39	-39,11
Tasa de cambio 2015-2017	-0,28	-28,44	0,29	28,57	0,19	-33,41
Tasa de cambio 2017-2018	0,87	86,51	-0,33	-33,41	-0,32	-32,11

Fuente: elaboración propia a partir del análisis de las imágenes satelitales del USGS

Discusión

En la actualidad se identifican pérdidas en las coberturas vegetales por efectos de la agricultura, pastizales, ganadería y extracción de combustibles fósiles, que degradan la vegetación (Vargas y Sicard, 2013). Esta tendencia es similar en Colombia por efectos de la producción agrícola, que ha disminuido aproximadamente el 4,5% de coberturas vegetales (Global Forest Watch, s.f). Además, la actividad minera aumenta las áreas deforestadas en 6948 desde 1986 hectáreas hasta 2007 (Pinto et al., 2015). En efecto en el municipio de Chaguaní Cundinamarca, las pérdidas de cobertura vegetal se presentan al oeste de municipio por efectos de la extracción de materiales de construcción, la cual tiene una participación del 45,41 % (Contraloría de Cundinamarca, 2018). De hecho, esta situación representa pérdidas en la calidad de la vegetación en los años 2013 y 2014 (Tabla 2), que degradan las condiciones naturales de los suelos.

Por otro lado, el análisis a partir del NDVI es una buena estrategia para la conformación de bases cartográficas, ya que la accesibilidad de imágenes satelitales permite hacer estudios multitemporales de manera económica (Hassan et al., 2016). En ese sentido analizar la calidad de la vegetación a partir de las tasas de cambio del NDVI propuestas por Lambin et al. (2001), Ruiz et al. (2017), Reddy et al. (2018), proporciona información importante para analizar extensión de cultivos y su calidad, la cual es complementaria con la clasificación supervisada, que analiza la tipología de la vegetación teniendo en cuenta sus características. En ese sentido se identifica el suelo

desnudo y vegetación pobre, lo que significa la minimización de la extensión de suelos cultivables, que afectan directamente la seguridad alimentaria.

Conclusiones

Las políticas de planificación territorial en Colombia como parte de un modelo económico extractivo, evidencian como la acción antrópica disminuye la calidad de las coberturas vegetales al oeste de Chaguaní-Cundinamarca sin tener en cuenta prácticas sostenibles, para la recuperación del suelo desnudo. Además, la planificación desactualizada del municipio y la inexistencia de bases cartográficas, que permitan hacer un seguimiento y control de la calidad de las coberturas vegetales ponen en una situación crítica el oeste de Chaguaní.

Por tanto, la utilización de imágenes satelitales para la caracterización de las coberturas vegetales en áreas rurales, es una buena herramienta por la accesibilidad de los datos geoespaciales que ofrece el Servicio Geológico de Estados Unidos. Por lo anterior el presente documento aporta una base cartográfica importante de valoración de coberturas vegetales, a partir de la clasificación supervisada, la cual permite identificar y cuantificar: el suelo desnudo, la vegetación pobre al igual que la vegetación vigorosa en la zona de estudio desde el 2013 al 2018. En consecuencia, la presencia del suelo desnudo describe un impacto visible del deterioro de los suelos por efectos de la explotación de canteras a cielo abierto al oeste del municipio.

En el caso de la vegetación pobre en la zona de estudio corresponde a territorios agrícolas, los cuales pertenecen a cultivos permanentes de cacao, café, caña panelera, caucho, mango, naranja y plátano, así como de cultivos transitorios de maíz y pepino cohombro. Incluso suelos con uso agrosilvopastoril correspondientes a la zona central del municipio (Alcaldía Municipal de Chaguaní - Cundinamarca, 2017).

En ese sentido la tipología de los cultivos son base fundamental para garantizar la seguridad alimentaria. Además, es importante dicha información para la actualización del esquema de ordenamiento territorial municipio de Chaguaní, ya que la identificación de la calidad de la vegetación es determinante en la toma de decisiones y planeación sostenible del municipio, puesto que el desarrollo de cultivos garantiza la seguridad alimentaria de Cundinamarca.

En síntesis, el análisis hecho mediante el NDVI es aproximado, ya que los resultados muestran que en los años 2013 y 2014 se identificó una disminución en las tasas de cambio de casi -50,09%. De igual manera se presentan reducciones en los años 2015 y 2017 de aproximadamente -28,44%. Mientras, en los años 2014 al 2015 y 2017 al 2018 existe una tendencia de aumento en la tasa de cambios del 94,70% y 86,51% respectivamente, las áreas más afectadas circundan el casco urbano del municipio de Chaguaní y la cuenca del río Magdalena (ver figura 2), la vulnerabilidad de estas zonas se integra principalmente al conjunto de acciones antrópicas y condiciones geográficas, lo cual obliga a la remoción de la cobertura vegetal. Por lo anterior, es evidente la falta de control de las coberturas vegetales y la falta de sensibilización sobre la importancia ecológica, beneficios de la vegetación y su calidad, este estado es resultante de la ausencia de protección de coberturas forestales y causas, debido a la pérdida excesiva de la vegetación. La situación descrita requiere la atención de los gobernantes actuales de Chaguaní, para evitar cambios drásticos en la cobertura que evitan la degradación de las zonas cultivables, garantizando la seguridad alimentaria de la zona de estudio. Por ello, se espera que esta investigación junto con la generación de nuevos conocimientos en la gestión de la cobertura vegetal, pueda aportar lineamientos en la formulación de políticas de uso de la tierra a escala regional, nacional e internacional.

Referencias

- Alatorre, L., Beguería, S., y Serrano, S. (2010). Análisis de la evolución espacio-temporal del NDVI sobre áreas vegetadas y zonas de riesgo de erosión en el Pirineo Central. *Pirineos*, 165, 7-27. <https://doi.org/10.3989/Pirineos.2010.165001>
- Alcaldía Municipal de Chaguaní Cundinamarca. (2017). *Revisión y ajuste general del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Chaguaní del departamento de Cundinamarca, con enfoque regional. Diagnóstico*. Cundinamarca, Colombia.
- Alcaldía Municipal de Chaguaní Cundinamarca. (2000). *EOT Chaguaní Cundinamarca*. Chaguaní.
- Amani, M., Salehi, B., Mahdavi, S., y Brisco, B. (2018). Spectral analysis of wetlands using multi-source optical satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 144, 119-136. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.07.005>
- Arango, M., Branch, J., y Botero, V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas Vegetales sobre imágenes digitales de sensores Remotos: “landsat-etm+”. *Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2611-2634. [https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/21276Doi o url](https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/21276Doi%20url)
- Banskota, A., Kayastha, N., Falkowski, M., Wulder, M., Froese, R., y White, J. (2014). Forest monitoring using Landsat time series data: a review. *Canadian Journal of Remote Sensing* 40(5), 362-384. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.987376>
- Campbell, J., y Wynne, R. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.
- CAR. (2016). GDB coberturas niveles CAR.
- Castellanos, M. (2011). Procesos de transformación urbana: El caso de Tunja 1900-2005. *Perspectiva Geográfica*, 14, 1(14), 13-44. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/perspectiva/article/view/1716>
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental*. Ariel ciencia.
- Contraloría de Cundinamarca. (2018). *Diagnóstico minero en Cundinamarca*. Bogotá Gobierno en línea. <https://es.scribd.com/document/448613263/INFORME-DIAGNOSTICO-MINERO-2018-pdf>
- El Garouani, A., Mulla, D., El Garouani, S., y Knight, J. (2017). Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data: Case of Fez, Morocco. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1)(6), 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.02.003>
- FAO. (1996). *Desarrollo de Sistemas Agrícolas y Conservación del Suelo*. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
- Global Forest Watch. (s. f). *Global forest watch*. Obtenido de <https://www.globalforestwatch.org/map/country/MEX/?mainMap=eyJzaG93QW5hbHlzaXMiOnRydWV9&map=eyJjZW50ZXIiOnsibGFoIjoyMy45NDQ4MDEyNjA2Njc5MzMsImxuZyI6LTUwMjE1MjgyNjMwODk5NzY4fSwiem9vbSI6NC4wODUzMzA5ODg5MDQyMzciLCJjYW5Cb3VuZCI6ZmFsc2V9&mapPrompts=eyJvcGVuIjpocnVILCJzdGVwcotleSI6InNlYnNjcmlhZVRvQXJlYSJ9>
- Guerschman, J., Paruelo, J., Bella, C., Giallorenzi, M., y Pacin, F. (2005). Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(17), 3381-3402. <https://doi.org/10.1080/0143116021000021288>
- Gurgel, H., y Ferreira, N. (2003). Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. *International Journal of Remote Sensing* 24(18), 3595-3609. <https://doi.org/10.1080/0143116021000053788>

- Guzmán, S., Bautista, G., y Bolaños, M. (2019). Diagnóstico de la fertilidad de los suelos de cuatro municipios de Cundinamarca (Colombia) para la producción de plátano. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, 22(1), 1-10. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1192>
- Hassan, Z., Shabbir, R., Ahmad, S., Haider, A., Aziz, N., Butt, A., y Erum, S. (2016). Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan. *Springer Plus*, 5, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2414-z>
- Hegazy, I., y Kaloop, M. (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(1), 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2015.02.005>
- Islam, K., Jashimuddin, Mohammed, Nath, B., y Tapan, K. (2018). Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of chunati wildlife sanctuary, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 21(1), 21, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.005>
- Jensen, J. (2009). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective*. Pearson Education India.
- Kharin, N. (2002). *Vegetation Degradation in Central Asia under the Impact of Human Activities*. Springer Science y Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-0425-1>
- Lambin, E., Turner, B., Geist, H., Agbola, B., Angelsen, A., Bruce, J., . . . Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change-human and Policy Dimensions*, 1(4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Mas, J.-F., Velázquez, A., y Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 1(1), 23-39. https://www.researchgate.net/publication/263255508_La_evaluacion_de_los_cambios_de_cobertura_uso_del_suelo_en_la_Republica_Mexicana
- Mattar, C., Sobrino, J., Julien, Y., Franch, B., y Oltra, R. (2008). Método simple para identificación de zonas homogéneas de NDVI y temperatura de superficie en la Península Ibérica. *Revista de Teledetección* 30(5), 92-101. https://www.uv.es/juy/Doc/Mattar_NDVI-LST-class-MODIS_2008_RET.pdf
- Nascimento, R. (1991). Discutiendo números do desmatamento. *Interciencia*, 16, 232-239.
- Oyedotun, T. (2018). Land use change and classification in Chaohu Lake catchment from multi-temporal remotely sensed images. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 3(1), 37-45. <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1481657>
- Pinto, J., Jojoa, L., y Hernández, M. (2015). Análisis de la pérdida de cobertura vegetal y los impactos ambientales hacia las comunidades utilizando imágenes satelitales, minería de carbón en cerrejón y la loma. *Congreso Latinoamericano sobre conflictos ambientales*. Buenos Aires: Congreso Latinoamericano sobre Conflictos ambientales: Oportunidades para una Gestión sustentable del territorio. https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3275/MartinezLiseth_RuizOrjuelaLissaMaria2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rahman, M. F., Jashimuddin, M., Islam, K., y Nath, T. (2016). Land use change and forest fragmentation analysis: a geoinformatics approach on chunati wildlife Sanctuary, Bangladesh. *Journal of Civil Engineering and Environmental Sciences* 2(1), 20-29. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2892445
- Reddy, V., Chandrakantha, C., Purandara, B., y Venkatesh, B. (2018). Land Use Land Cover Mapping, Change Detection and Analyzing Landcover Dynamics using Remote Sensing and GIS- A Case Study of Coastal Honnavar, Karnataka. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 7(1), 2809-2817. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.376>
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J., y Deering, D. (1973). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS* (Vol. 351 I). Proceedings of the Third ERTS Symposium, NASA SP. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>

- Ruiz, M., Orozco, M., Granados, G., y Álvarez, G. (2017). Cambio de uso de suelo e índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), Subcuenca del Río Salado, México. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)* 9(9), 39-50. <http://hdl.handle.net/20.500>
- Saeed, A., Abbas, B., y Abdelrahim, S. (2018). Detection, mapping and assessment change in urban and croplands area in Al-Hassa Oasis, Eastern Region in Saudi Arabia using remote sensing and geographic information system. *Journal of Geographic Information System* 10(6), 659-685. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=88782>
- Sahebjalal, E., y Dashtekian, K. (2013). Analysis of land use-land covers changes using normalized difference vegetation index (NDVI) differencing. *African Journal of Agricultural Research*, 8(37), 4614-4622. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1825>
- Shimabukuro, Y., Batista, G., Mello, E., Moreira, J., y Duarte, V. (1998). Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in landsat thematic mapper images of the Amazon region. *International Journal of Remote Sensing*, 19(3), 535-541. <https://doi.org/10.1080/014311698216152>
- Song, X., Huang, C., Sexton, J., Channan, S., y Townshend, J. (2014). Annual detection of forest cover loss using time series satellite measurements of percent tree cover. *Remote Sensing*, 6(9), 8878-8903. <https://doi.org/10.3390/rs6098878>
- Spark, W. (2018). Datos históricos meteorológicos de 2018 en el aeropuerto del Dorado. <https://es.weatherspark.com/h/s/147155/2018/1/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-del-verano-2018-en-el-Aeropuerto-El-Dorado-Colombia>
- Teluguntla, P., Thenkabail, P. S., Xiong, J., Gumma, M., Giri, C., Milesi, C., . . . Yadav, K. (2015). Global food security support analysis data (GFSAD) at nominal 1 km (GCAD) derived from remote sensing in support of food security in the twenty-first century: Current achievements and future possibilities. In S. Prosad (Ed.). *Remote Sensing Handbook - Three Volume Set*, (pp. 131-160) CRC Press.
- USGS science for a changing world. (s. f.). Earth Explorer. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vargas, C., y Sicard, T. (2013). Resiliencia de sistemas agrícolas ecológicos y convencionales frente a la variabilidad climática en Anolaima (Cundinamarca-Colombia). *Agroecología*, 8(1), 21-32. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/182931>
- Ying, Q., Hansen, M., Potapov, P., Tyukavaina, A., Wang, L., Stehman, S., . . . Hancher, M. (2017). Global bare ground gain from 2000 to 2012 using Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 194, 194, 161-176. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.022>

Notas

- * Artículo de investigación

CC BY